



Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Kertas Karbon

Fredina Destyorini* dan Nanik Indayaningsih

Pusat Penelitian Fisika – LIPI, Gd. 440 Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: *fred007@lipi.go.id

Masuk : 9 Agustus 2017 Direvisi : 30 Agustus 2017 Disetujui : 11 Agustus 2017

Abstrak: Limbah perkebunan berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dimanfaatkan sebagai bahan karbon yang bernilai guna lebih tinggi. Pada penelitian ini dibahas tentang proses pembuatan dan karakterisasi kertas karbon dengan memanfaatkan serat TKKS sebagai bahan bakunya. Kertas karbon yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai *Gas Diffusion Layer* (GDL) PEMFC. Pembuatan kertas karbon pada penelitian kali ini terdiri dari 2 tahap yaitu pembuatan bahan karbon dari serat TKKS dan pembuatan kertas karbon. Pada tahap pertama, bahan karbon dihasilkan dari proses karbonisasi dan pirolisis serat TKKS hingga suhu 1300°C. Bahan karbon yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan kertas karbon pada tahap kedua. Pembuatan kertas karbon dilakukan dengan cara mencampurkan bahan karbon yang dihasilkan pada tahap pertama dengan polimer *ethylene vinyl acetate* (EVA) dan *poly ethylene glycol* (PEG) sebagai *binder* ke dalam pelarut *xylene*. Proses pencampuran dilakukan pada suhu 90°C hingga membentuk *slurry*, dan dilanjutkan dengan proses pencetakan pada cetakan kaca. Berdasarkan hasil pengujian konduktivitas listrik terlihat bahwa nilai konduktivitas listrik karbon TKKS meningkat seiring dengan pertambahan suhu pirolisis. Nilai konduktivitas listrik serbuk karbon TKKS 500°C sebesar $(1,02 \times 10^{-6}) - (3,90 \times 10^{-5})$ S/cm; 700°C sebesar $(0,021 - 0,025)$ S/cm; 900°C sebesar $(2,95 - 2,96)$ S/cm; dan untuk 1300°C sebesar $(7,97 - 8,03)$ S/cm. Penggunaan bahan polimer yang tidak konduktif menyebabkan kertas karbon yang dihasilkan memiliki nilai konduktivitas listrik yang lebih rendah dibandingkan bahan karbonnya.

Kata kunci: Tandan kosong kelapa sawit, pirolisis, kertas karbon, *Gas Diffusion Layer*

Abstract: Farm by-products such as oil palm empty fruit bunches (EFB) can be used as the carbon material with higher use-value. In this study discussed about the manufacture process and characterization of carbon paper using EFB as raw materials. The carbon paper can be applied as a *Gas Diffusion Layer* (GDL) PEMFC. Manufacture of carbon paper in the present study consisted of two stages, namely the manufacture of carbon materials and paper making. In the first stage, the carbon material produced from carbonization and pyrolysis process of EFB to a suhu of 1300°C. The resulting carbon material is further used as a raw material for the manufacture of carbon paper on the second stage. Manufacture of carbon paper made by mixing the carbon material produced in the first stage with a polymer of *ethylene vinyl acetate* (EVA) and *poly ethylene glycol* (PEG) as binder in the solvent *xylene*. The mixing process is done at a suhu of 90°C to form *slurry*, and then cast it on the glass mold. Based on the result of electrical conductivity test shows that the electrical conductivity of carbon material from TKKS increases with pyrolysis suhu. The electrical conductivity value of carbon TKKS 500°C are $(1,02 \times 10^{-6}) - (3,90 \times 10^{-5})$ S/cm; 700°C $(0,021 - 0,025)$ S/cm; 900°C $(2,95 - 2,96)$ S/cm; and 1300°C $(7,97 - 8,03)$ S/cm. The use of non-conductive polymer materials in the second stage produced carbon paper with lower electrical conductivity than the carbon materials.

Keywords: Oil palm empty fruit bunches, pyrolysis, carbon paper, *Gas Diffusion Layer*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu penyuplai minyak kelapa sawit mentah (Crude Palm Oil/ CPO) terbesar di dunia [1]. Pada tahun 2011 Indonesia menguasai pasar CPO (crude palm oil) atau minyak mentah sawit dunia sebesar 47 %, Malaysia sebesar 39 % dan selebihnya di produksi oleh negara lain di seluruh dunia. Dari total seluruh produksi CPO tahun 2011 dengan jumlah 46 juta ton yang di dihasilkan dari lebih kurang 12 juta hektar kelapa sawit di seluruh dunia, Indonesia berkontribusi sebanyak 7,5 juta hektar [2-4]. Dalam proses pengolahan

minyak kelapa sawit terdapat produk samping (limbah) salah satunya berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, contohnya sebagai pupuk tanaman dan pakan ternak saja. Sedangkan TKKS merupakan limbah padat yang paling banyak dihasilkan yaitu >20% dari total tandan buah segar (TBS) kelapa sawit yang diolah [5]. Pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan tandan kosong kelapa sawit menjadi arang aktif dan kertas karbon sebagai alternatif pemanfaatan limbah kelapa sawit yang sudah ada selama ini. TKKS merupakan bahan organik kompleks yang kaya unsur karbon. Kandungan karbon inilah yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, salah satunya sebagai arang/karbon aktif dan kertas karbon konduktif. Tujuan dari penelitian kali ini yaitu untuk mempelajari teknik pengolahan TKKS menjadi arang/karbon aktif dan pembuatan kertas karbon konduktif dari arang/karbon aktif TKKS pada variasi temperatur pemanasan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah limbah TKKS dibanding dengan aplikasi yang sudah ada selama ini.

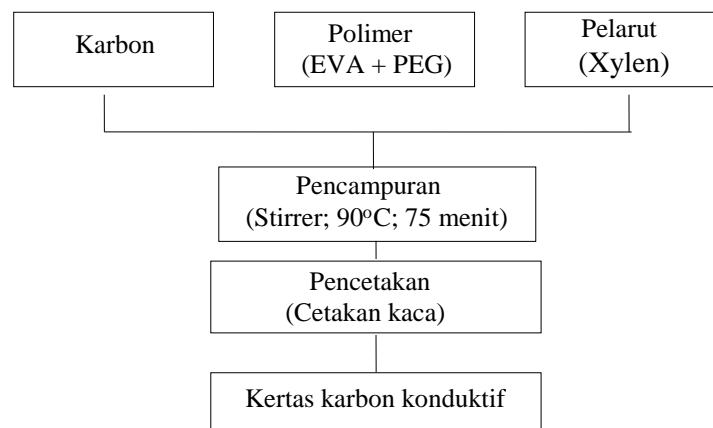
METODOLOGI

Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serat dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pembuatan kertas karbon diawali dengan proses karbonisasi serat dari TKKS pada suhu 500°C dalam kondisi inert gas (N₂) selama 1 jam untuk menghasilkan arang 500°C menggunakan tungku tabung. Berdasarkan hasil DTA/TG, serat TKKS telah mengalami dekomposisi seluruh komponen hemi-cellulose, cellulose and lignin pada suhu ±500°C [3]. Pembuatan arang/karbon aktif 700°C, 900°C, dan 1300°C dilakukan dengan melanjutkan proses pemanasan pada suhu 700°C, 900°C, dan 1300°C dalam kondisi inert gas (N₂) selama 1 jam dari arang 500°C.

Pembuatan Kertas Karbon Konduktif

Kertas karbon konduktif (CCP) dibuat menggunakan teknologi komposit, dengan bahan serbuk arang/karbon TKKS (200 mesh), polimer dan pelarut. Polimer yang digunakan yaitu jenis Ethylene vinyl acetate (EVA) dan Polyethylene glycol (PEG), sedangkan pelarut yang digunakan yaitu jenis Xylen. Detil proses pembuatan kertas karbon konduktif dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram alir pembuatan kertas karbon.

Karakterisasi

Nilai konduktivitas listrik serbuk arang/karbon TKKS dan kertas karbon diukur menggunakan LCR-meter HIOKI 3522-50 HITESTER. Untuk serbuk arang/karbon ukuran partikel dibuat homogen sebesar 200 mesh. Sedangkan sampel kertas karbon dipotong seluas ± (1x1)cm². Dari alat LCR-meter ini didapatkan nilai resistansi (R) dengan satuan Ω, dan untuk mendapatkan nilai konduktivitas listriknya (σ) S/cm digunakan persamaan (1):

$$\sigma = \frac{RA}{L} \quad (1)$$

dimana L adalah jarak 2 elektroda dengan satuan cm, dan A adalah luas penampang lintang dengan satuan cm² [6]. Pengamatan morfologi kertas karbon konduktif dilakukan menggunakan SEM (JEOL JSM-6390A). Pengamatan dilakukan pada penampang atas, bawah, dan melintang dari kertas karbon.

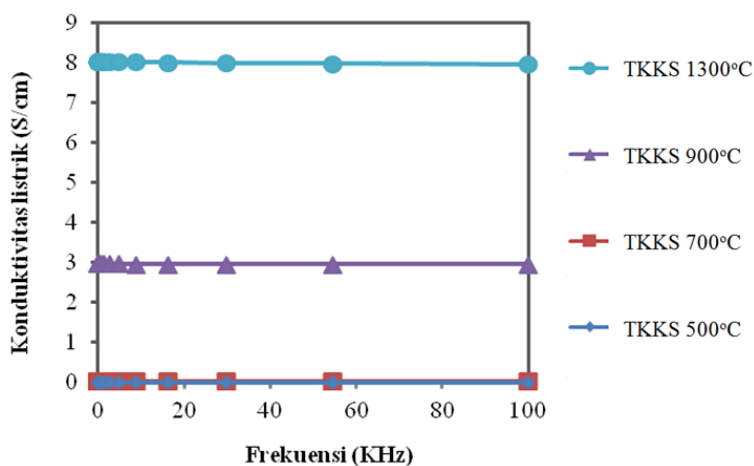
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tandan kosong kelapa sawit merupakan serat organik yang kaya akan unsur karbon. Unsur karbon yang terikat dalam bentuk hemi-cellulose, cellulose and lignin inilah yang harus diuraikan dengan teknik karbonisasi pada suhu tertentu. Pada penelitian ini unsur karbon yang terkandung dalam serat TKKS dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kertas karbon konduktif. Proses pengarangan serat karbon untuk mendapat unsur karbon yang diinginkan dilakukan dengan teknik karbonisasi (inert gas) dimulai pada suhu 500°C selama 1 jam. Serat TKKS yang telah melalui proses karbonisasi akan berubah warna menjadi hitam pekat seperti warna arang. Bentuk serat TKKS sebelum dikarbonisasi dan arang TKKS setelah karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 2a dan 2b. Dengan mengalirkan gas inert (N_2) selama proses karbonisasi akan menyebabkan serat TKKS terdekomposisi sempurna dan mencegah terbentuknya abu sebagai akibat dari reaksi dengan oksigen. Indikasi tidak terbentuknya abu dapat ditandai dengan warna arang yang hitam pekat dan tidak ada bagian yang berwarna abu-abu atau putih. Proses karbonisasi pada suhu 500°C ini menghasilkan produk samping berupa tar dan cuka kayu yang harus dipisahkan dari arang/karbon. Selanjutnya arang 500°C ini dipanaskan lagi pada suhu yang lebih tinggi yaitu 700°C, 900°C, 1300°C dengan tujuan meningkatkan kualitasnya.



Gambar 2. Foto TKKS (a) sebelum dikarbonisasi dan (b) arang setelah dikarbonisasi.

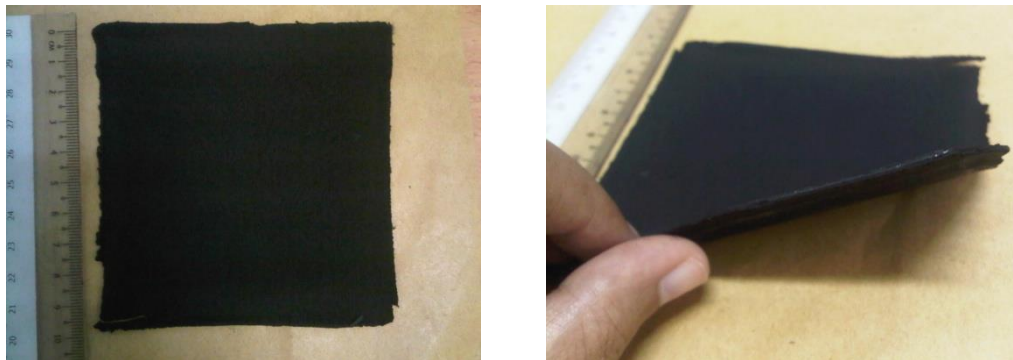
Sebagai bahan baku untuk membuat kertas karbon konduktif, arang/karbon dari serat TKKS harus memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Oleh karena itu perlu adanya pengukuran nilai konduktivitas arang/karbon dari serat TKKS hasil karbonisasi pada suhu 500, 700, 900, dan 1300°C. Arang/karbon dari serat TKKS ini harus diserbukkan terlebih dahulu dengan ukuran serbuk homogen 200 mesh untuk memaksimalkan kontak antar partikelnya selama proses pengukuran. Hasil pengukuran nilai konduktivitas listrik arang/karbon TKKS disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Konduktivitas listrik serbuk arang/karbon TKKS dengan variasi suhu pemanasan.

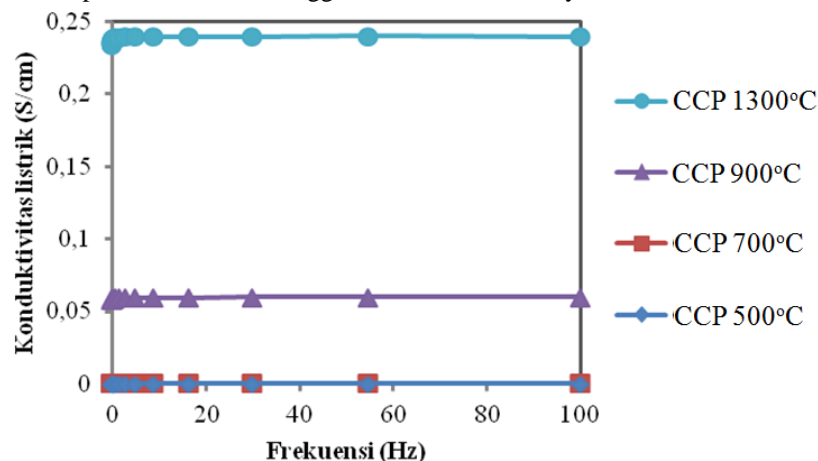
Dari Gambar 3 terlihat bahwa nilai konduktivitas listrik arang/karbon TKKS meningkat seiring dengan pertambahan suhu proses karbonisasi. Nilai konduktivitas listrik arang/karbon TKKS 500°C sebesar $(1,02 \times 10^{-6}) - (3,90 \times 10^{-5})$ S/cm; 700°C sebesar $(0,021 - 0,025)$ S/cm; 900°C sebesar $(2,95 - 2,96)$ S/cm; dan untuk 1300°C sebesar $(7,97 - 8,03)$ S/cm. Peningkatan suhu karbonisasi berpengaruh terhadap pertambahan nilai konduktivitas listrik arang/karbon TKKS. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa pertambahan suhu karbonisasi pada serat TKKS menyebabkan meningkatnya derajat kristalinitas dari arang/karbon TKKS [7-8]. Derajat kristalinitas merupakan tingkat keteraturan struktur suatu material [9]. Penetapan derajat kristalinitas dapat dilakukan dengan cara membagi luas daerah kristalin dan luas daerah seluruhnya (kristalin+amorf) [10]. Peningkatan derajat kristalinitas pada arang 500°C, 700°C, 900°C, dan 1300°C memperlihatkan bahwa struktur kristal karbon pada arang semakin teratur mendekati struktur grafit dan hal ini juga mempengaruhi konduktivitas listriknya [11].

Hasil pembuatan kertas karbon konduktif dari arang/karbon TKKS dapat dilihat di Gambar 4. Kertas karbon dibuat dari arang/karbon TKKS dan polimer yang dicetak dengan teknik *tape casting*. Komposisi yang digunakan antara arang/karbon : polimer adalah 8:2 dengan berat total campuran sebesar 1,5 gram. Dimensi kertas yang dihasilkan sebesar $\pm (10 \times 10)$ cm dan tebal $\pm (0,1 - 0,2)$ mm. Pembuatan kertas karbon ini dilakukan menggunakan bahan dasar arang/karbon TKKS hasil karbonisasi suhu 500, 700, 900, dan 1300°C dengan komposisi yang sama. Pengukuran konduktivitas listrik pada kertas karbon juga dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.



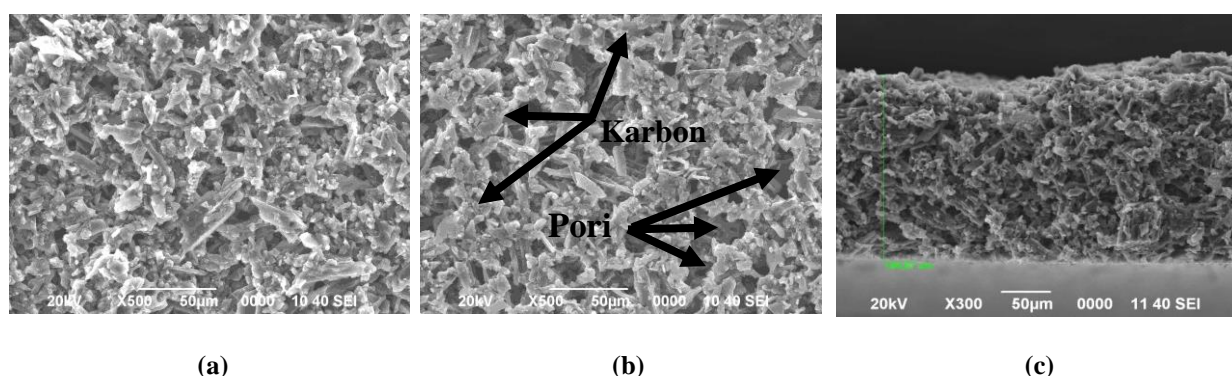
Gambar 4. Kertas karbon dari arang TKKS.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa konduktivitas listrik kertas karbon meningkat sesuai dengan suhu karbonisasi serbuk arang/karbon TKKS yang digunakan. Kertas karbon yang menggunakan bahan dasar arang/karbon TKKS bersuhu 500°C memiliki konduktivitas listrik paling rendah yaitu sebesar $(1,37 \times 10^{-9}) - (1,44 \times 10^{-6})$ S/cm. Nilai konduktivitas listrik ini semakin naik nilainya pada kertas karbon yang menggunakan arang/karbon dengan suhu karbonisasi lebih tinggi pada 700, 900, dan 1300°C yaitu berturut-turut sebesar; $(3,68 - 3,81) \times 10^{-4}$ S/cm; $(5,77 - 5,98) \times 10^{-2}$ S/cm; dan $(2,34 - 2,40) \times 10^{-1}$ S/cm. Dan kertas karbon yang paling konduktif dihasilkan dari arang/karbon TKKS bersuhu 1300°C. Nilai konduktivitas listrik kertas karbon jika dibandingkan dengan nilai konduktivitas listrik bahan dasarnya berupa serbuk arang/karbon TKKS secara keseluruhan terlihat mengalami penurunan nilai. Hal ini disebabkan adanya penambahan polimer non-konduktif sebagai binder yang dapat mengurangi kontak antar partikel karbon sehingga nilai konduktivitasnya menurun.



Gambar 5. Konduktivitas listrik kertas karbon dari TKKS dengan variasi suhu pemanasan serbuk karbon.

Pengamatan menggunakan SEM juga dilakukan untuk melihat struktur mikro pada kertas karbon. Pengamatan dilakukan pada permukaan bagian atas, permukaan bawah dan penampang lintangnya. Hasil foto SEM kertas karbon masing-masing bagian dapat dilihat pada Gambar 6. Dari hasil foto SEM pada permukaan bagian atas dan bawah (Gambar 6a dan 6b) terlihat bahwa partikel karbon saling terikat satu sama lainnya tetapi masih terbentuk pori yang tersebar merata di seluruh permukaan. Terbentuknya pori merupakan salah satu syarat yang dibutuhkan oleh sebuah komponen elektoda PEMFC *Gas Diffusion Layer* yang memiliki salah satu fungsi sebagai pendistribusi gas H dan O [12]. Sedangkan keterikatan antar partikel karbon mempengaruhi sifat listrik dari kertas karbon yang dihasilkan. Partikel karbon yang saling terikat satu sama lain menyediakan jalur bagi elektron untuk bergerak, dan hal ini berpengaruh terhadap nilai konduktivitas listriknya. Pengamatan pada penampang lintang kertas karbon (Gambar 6c) memberikan informasi bahwa tebal kertas yang dihasilkan $\pm 194,47 \mu\text{m}$. Keterikatan antar partikel karbon dan pori yang terbentuk juga terlihat jelas. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa karbon dari arang TKKS dapat dimanfaatkan untuk membuat kertas karbon konduktif dengan teknologi komposit. Pemanfaatan serat tandan kosong kelapa sawit menjadi kertas karbon konduktif ini dapat menambah nilai manfaat dari limbah industri sawit yang melimpah jumlahnya. Seperti kita tahu bahwa Indonesia merupakan negara penghasil sawit terbanyak di dunia, tetapi limbah TKKS yang dihasilkan masih belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan demikian hasil penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai alternatif pemanfaatan limbah sawit TKKS.



Gambar 6. Foto SEM kertas karbon dari arang TKKS tampak (a) permukaan atas, (b) permukaan bawah, dan (c) penampang lintang

KESIMPULAN

Proses karbonisasi serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam suasana inert gas hingga suhu 1300°C dapat menghasilkan serbuk karbon yang cukup konduktif dengan nilai konduktivitas listrik sebesar $\pm (7,97-8,03) \text{ S/cm}$ (tidak ada dipembahasan). Pembuatan kertas karbon dengan memanfaatkan serbuk karbon dari serat TKKS ini berhasil dilakukan dengan teknologi *casting* yang sederhana dan menghasilkan kertas dengan dimensi sebesar $\pm (10 \times 10) \text{ cm}$ dan tebal $\pm (0,1-0,2) \text{ mm}$. Kertas karbon yang paling konduktif dihasilkan dari karbon TKKS 1300°C dengan nilai konduktivitas listrik kertas karbon $(2,34-2,40) \times 10^{-1} \text{ S/cm}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian berjudul “Peningkatan Nilai Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Karbon Aktif Untuk Bahan Kertas Konduktif Sebagai Komponen Fuel Cell” dan didanai oleh kegiatan Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekrayasa (PKPP) Tahun Anggaran 2012, Kementerian Riset dan Teknologi. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mo, Y. “7 Negara Tujuan Utama Ekspor Minyak Kelapa Sawit dari Indonesia”, <http://www.isw.co.id/single-post/2017/02/27/Negara-Tujuan-Utama-Ekspor-Minyak-Kelapa-Sawit-dari-Indonesia>, akses tanggal 21 Desember 2017.
- [2] Indonesian Palm Oil Magazine. <http://www.infosawit.com/>. Akses tanggal 1 November 2012.
- [3] Manambangtua A P, Barri N L dan Palma B 2016 *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri* **22** 18
- [4] Nurbahar I R, Hendaryati D D, Ariyanto Y Y, Zuraina W K, Pudjianto E, Udin A, Kurniawati N, Darmajati S N dan Magdalena E 2017 *Statistik Perkebunan Indonesia, Kelapa Sawit 2015-2017* Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan, Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- [5] Fuadi A M dan Pranoto H 2016 *Chemica* **3** 1
- [6] Mochidzuki K et al. 2003 *Ind. Eng. Chem. Res.* **42** 5140
- [7] Indayaningsih N, Zulfia A, Priadi D dan Kartini E 2010 Carbon Studies On The Oil Palm Fibers For Gas Diffusion Layer Material *Proceeding 12th Asian Conference on Solid State Ionics and 15th Chinese Conference on Solid State Ionics*, Fundamental researches and Technological Applications (Wuhan, China) p 1045
- [8] Indayaningsih N, Zulfia A, Priadi D dan Hendrana S 2011 *Jurnal Advanced Materials Research* **277** 137
- [9] Hussain R, Qadeer R, Ahmad M dan Saleem M 2000 *Turk J. Chem.* **24** 177
- [10] Kercher A K dan Negle D C 2003 *Carbon* **41** 15
- [11] Destyorini F, Suhandi A, Subhan A dan Indayaningsih N 2010 *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia* **10** 122
- [12] Cindrella L, Kannan A M, Lin J F, Saminathan K., Ho Y, Lin CW and Wertz J 2009 *Journal of Power Sources* **194** 146